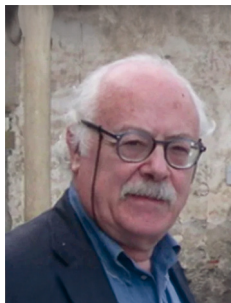


Francesco Guerra (1942-2025)



Il 19 giugno è venuto a mancare Francesco Guerra, fisico matematico di fama internazionale, che ha dato contributi fondamentali alla teoria dei campi quantistici, a quella dei vetri di spin e allo studio della storia della fisica.

Francesco aveva un dono raro: la capacità di risolvere problemi estremamente difficili utilizzando argomenti matematici sorprendentemente semplici, fondati su una profonda intuizione fisica. Problemi ritenuti da molti bisognosi di complessi apparati tecnici, Francesco li risolveva con chiarezza concettuale ed essenziale eleganza. In questa breve nota cerchiamo di delinearne un profilo scientifico e culturale che, lungi da essere completo, si basa soprattutto sulle nostre interazioni con lui.

Francesco ha avuto una carriera accademica di eccezionale livello. Dopo la laurea con lode in Fisica all'Università di Napoli nel 1964 con la supervisione di Eduardo Caianiello, ha svolto attività di ricerca presso il CNR e l'INFN, per poi trasferirsi al Dipartimento di Fisica dell'Università di Princeton come research associate (1970-72). È stato professore ordinario di Fisica Teorica prima a Salerno (dal 1976) e poi, per oltre trent'anni, all'Università "La Sapienza" di Roma. In entrambi gli atenei ha ricoperto il ruolo di direttore del Dipartimento di Fisica. È stato invitato a tenere conferenze in centri di ricerca e università di tutto il mondo. Dopo il pensionamento, è stato nominato Professore Emerito e ha continuato a collaborare con l'INFN e il Centro Fermi.

GP: Ho incontrato Francesco Guerra per la prima volta all'inizio degli anni Settanta. Rimasi colpito dalla sua grande cultura, e diventammo subito molto amici. Cominciammo a vederci con una certa regolarità quando lui da Napoli veniva a Roma (intorno al 1980). Discutevamo di argomenti di ogni tipo. Aveva idee molto chiare sulla politica, che considerava l'arte del compromesso tra posizioni diverse. Ricordo che quando fui candidato per il consiglio comunale di Roma nella lista del Partito Comunista, lui venne da me per discutere la situazione e darmi suggerimenti. Mi disse che qualche anno prima era stato candidato al Senato per il Partito Comunista. Nessuno dei due fu eletto, forse anche perché nessuno dei due era membro del Partito.

L'ambito di ricerca in cui Francesco si fece conoscere, giovanissimo, a livello internazionale fu la teoria costruttiva dei campi, e in particolare la sua formulazione euclidea. Questa disciplina nasce dall'esigenza di fornire basi matematiche rigorose alla teoria quantistica dei campi, il linguaggio con cui la fisica moderna descrive particelle e interazioni, che nella pratica si affida a regole di calcolo estremamente efficaci, come i diagrammi di Feynman e le tecniche perturbative, prive però nella maggior parte dei casi di fondamento certe. La formulazione euclidea consente di tradurre i problemi della teoria quantistica dei campi in termini probabilistici più

trattabili, aprendo la strada alla costruzione rigorosa di modelli e alla verifica di proprietà fisiche fondamentali. Negli anni in cui Francesco vi si dedicò, questo era un terreno di frontiera che richiedeva insieme intuizione fisica profonda e sofisticate competenze matematiche: il fatto che un giovane ricercatore italiano sapesse muoversi con naturalezza in tale ambito fu la prova immediata del suo talento eccezionale e della straordinaria solidità della sua formazione accademica.

Nei primi anni Settanta, in visita a Princeton, dimostrò l'esistenza del limite di volume infinito per i campi di Bose con accoppiamenti polinomiali in due dimensioni [1]. Il significato di questo risultato è descritto al meglio da Barry Simon nella sua rassegna [2], dove ricorda:

Ho un ricordo vivido di come venni a conoscenza per la prima volta di questi risultati. Guerra era a Princeton da circa 18 mesi. Era molto silenzioso. Probabilmente avevo scambiato con lui solo poche parole e non aveva tenuto alcun seminario. Wightman mi disse che Guerra gli aveva chiesto di organizzare un incontro con Lon Rosen e con me. Ci incontrammo nell'ufficio di Wightman ai primi di gennaio 1972. Guerra iniziò scrivendo tre fatti che stava per dimostrare. Lon e io, in seguito, ci confrontammo e avevamo avuto lo stesso pensiero: "sì, certo, adesso li dimostri tu". Erano così lontani da ciò che era noto che era letteralmente incredibile. Dieci minuti dopo, li aveva dimostrati tutti e tre. Eravamo sotto shock.

E ancora:

Il lavoro sopra menzionato di Guerra e GRS [Guerra, Rosen e Simon] attirò l'attenzione degli esperti di CQFT [Constructive Quantum Field Theory] e praticamente tutti i lavori sull'argomento dopo l'inizio del 1972 utilizzarono il quadro EQFT [Euclidean Quantum Field Theory]. Ricordo che poche settimane dopo che Guerra, Rosen e Simon avevano iniziato a lavorare insieme, Glimm venne a Princeton a parlare dei limiti che aveva ottenuto e passò l'ora del seminario a delineare la loro sottile dimostrazione. Dopo, Francesco, Lon ed io lo intercettammo e gli spiegammo in 10 minuti la breve dimostrazione che avevamo trovato usando una versione estesa della simmetria di Nelson. Fu l'occasione di Glimm per restare sotto shock.

Il lavoro di Francesco segnò una svolta decisiva. Non solo risolveva per la prima volta in modo rigoroso un passaggio fondamentale come l'esistenza del limite di volume infinito per una teoria di campo, ma riorientò l'intera ricerca internazionale sull'argomento. Gli specialisti compresero immediatamente la portata del risultato e ricercatori già affermati come Barry Simon, Robert Rosen e persino James Glimm ne

furono profondamente influenzati.

Il caso della teoria dei campi non sarebbe rimasto isolato nella carriera di Francesco. Quella capacità di affrontare problemi di frontiera coniugando intuizione fisica e rigore matematico divenne infatti l'impronta digitale del suo lavoro. Dopo i contributi pionieristici alla teoria costruttiva, Francesco, a partire dal suo arrivo a Roma, rivolse la sua attenzione a un nuovo territorio di grande difficoltà e fascino: la meccanica statistica dei sistemi disordinati.

GP: Ricordo che già all'inizio degli anni Ottanta, Francesco Guerra era profondamente interessato ai vetri di spin. Diceva che i vetri di spin sarebbero stati una pietra angolare della meccanica statistica del futuro. Seguiva gli sviluppi con estrema attenzione: avemmo frequenti discussioni che furono per me molto utili. Il suo primo articolo sui vetri di spin fu scritto nel 1995. Da quel momento in poi scrisse molti affascinanti lavori pionieristici, introducendo molti nuovi strumenti.

PC: Nella seconda metà degli anni '80 dovevo scegliere il relatore di tesi. Tra gli altri chiesi a Francesco che mi parlò di un tema di cui avevo già sentito: la prodigiosa soluzione del modello di Sherrington e Kirkpatrick per la teoria di campo medio del vetro di spin, che Giorgio Parisi aveva ottenuto col metodo delle repliche in cui emergeva la struttura ultrametrica [3]. In quelle prime conversazioni, Francesco mi spiegò che il suo piano era di affrontare il problema con strumenti matematici rigorosi usando stime, dall'alto e dal basso, basate su idee di convessità termodinamica. Ricordo che all'epoca quel metodo non si sapeva fare funzionare neppure per il semplice ferromagnete di campo medio. C'era molto da lavorare ma il suo percorso intellettuale era già ben orientato e quelle prime conversazioni hanno influito moltissimo nella mia produzione scientifica e nei lavori che ho fatto in seguito, anche nel mio periodo alla Princeton University.

Qui ci concentreremo quindi su tre contributi al tema che cambiarono completamente il panorama teorico della teoria di campo medio del vetro di spin: furono del tutto inattesi e sono alla base della comprensione moderna dei vetri di spin e dei problemi collegati. Questi risultati fondamentali sono: la dimostrazione delle identità di Ghirlanda e Guerra (1998) [4], la dimostrazione dell'esistenza della densità di energia libera nel modello di Sherrington-Kirkpatrick (SK) nel limite di volume infinito (2002) [5], la dimostrazione che le formule di rottura spontanea di simmetria di replica forniscono (almeno) un limite inferiore all'energia libera del modello SK (2003) [6].

Nella teoria dei vetri di spin, un ruolo cruciale è giocato dalla distribuzione di probabilità dell'overlap tra due configurazioni, cioè $P(q_{1,2})$ ottenuta a sua volta come media nel campione del disordine $J: P(q) := P_J(q)$.

È un fatto fondamentale e altamente non banale che tutte le proprietà del modello dipendano solo da $P(q_{1,2})$. Si può infatti vedere che lo stato di equilibrio del sistema è descritto dalla distribuzione di probabilità congiunta delle overlap tra un numero arbitrario di configurazioni sottoposte allo stesso disordine:

$$P(q_{1,2}, q_{1,3}, q_{1,4}, \dots, q_{2,3}, q_{2,4}, \dots).$$

La teoria di campo medio del vetro di spin, col metodo delle repliche dei primi anni '80 contiene la legge di fattorizzazione della distribuzione congiunta che viene calcolata a partire dalla $P(q)$. La prima dimostrazione matematicamente fondata della possibilità di ottenere una prima fattorizzazione è stata identificata nel lavoro di Francesco [7] dove sono dimostrate le due formule di base:

$$P(q_{1,2}, q_{2,3}) = 1/2 P(q_{1,2}) \delta(q_{2,3} - q_{1,2}) + 1/2 P(q_{1,2}) P(q_{2,3}),$$

$$P(q_{1,2}, q_{3,4}) = 2/3 P(q_{1,2}) \delta(q_{3,4} - q_{1,2}) + 1/3 P(q_{1,2}) P(q_{3,4}).$$

La semplicità e la compattezza del lavoro che condusse a questo risultato fu sorprendente e l'idea sottostante semplicissima: le fluttuazioni, sia quelle in temperatura che in disordine dell'energia sono al massimo grandi come il volume del sistema.

Utilizzando un metodo molto diverso, di stabilità stocastica cioè invarianza per piccole perturbazioni, le identità furono poi generalizzate a una famiglia infinita in [8] e successivamente Ghirlanda e Guerra [4] trovarono identità ancora più generali. In questi lavori le dimostrazioni sono indipendenti dalla soluzione matematicamente rigorosa del modello che sarebbe arrivata solo più tardi.

Di per sé, le identità di Ghirlanda e Guerra non bastano a ricostruire tutti i momenti. Tuttavia, in un lavoro profondo e piuttosto complesso [9], quindici anni dopo Panchenko dimostro che le identità di Ghirlanda e Guerra sono sufficienti a ricostruire l'intera distribuzione di probabilità di $P(q)$. Le identità di Ghirlanda e Guerra sono oggi alla base dell'approccio moderno ai vetri di spin e ai problemi collegati.

Uno degli ostacoli per far progredire la ricerca nel campo a fine anni '90 era che, sebbene il modello di campo medio del vetro di spin sia formalmente semplice, era ancora inaccessibile la dimostrazione dell'esistenza del limite di volume infinito per la densità di energia libera. I metodi tradizionali per i sistemi finito dimensionali dei modelli disordinati non funzionano.

Dalla sua introduzione fino ai primi anni del nuovo millennio dunque, l'unico risultato di esistenza di questo limite era dovuto ad Aizenman, Lebowitz e Ruelle. Nel 1987 riuscirono a dimostrare l'esistenza del limite nella regione ad alta temperatura $\beta < 1$, dove la densità dell'energia libera è semplicemente data da $-\beta/4$. Sebbene fosse banale dimostrare che a tutte le temperature la densità dell'energia libera è maggiore di -1 , a basse temperature ($\beta > 1$) non era possibile escludere che la media della densità di energia libera oscillasse con il numero di spin N : in questa situazione il limite non sarebbe esistito.

PC: Ricordo un momento nel gennaio 2002, a Les Houches. Stavamo passeggiando nella neve e durante una conversazione congiunta tra Francesco e me, Michel Talagrand osservò: "Ci vorrà una vita intera per dimostrare l'esistenza del limite termodinamico per il modello SK!" Il risultato di Francesco arrivò pochi mesi dopo e cambiò il campo in modo permanente, riaccendendo lo stesso senso di meraviglia evocato dagli scritti di Barry Simon.

Guerra e Toninelli dimostrarono infatti che eventuali oscillazioni, se presenti, devono per forza tendere a zero e il limite esiste. Il passo cruciale fu la dimostrazione della subadditività dell'energia libera totale. La dimostrazione, piuttosto breve, si basava su un ingegnoso metodo di interpolazione che interpolava tra l'Hamiltoniana di due sistemi, uno con N_1 spin e l'altro con N_2 spin, e l'Hamiltoniana di un sistema con $N \equiv N_1 + N_2$ spin. Dopo aver scritto le definizioni, l'integrazione per parti fu la parte più sofisticata dell'argomentazione. Da allora l'interpolazione è divenuta il metodo standard per ottenere risultati rigorosi nei sistemi disordinati (vedi per esempio [10]).

In particolare il metodo di interpolazione si rivelò così potente che Guerra ebbe un'idea incredibile: interpolare tra le formule esplicite dell'approccio replica, scritte come funzione dei pesi degli stati, e la vera Hamiltoniana dei vetri di spin. Qui le formule sono davvero complesse, e serve una grande abilità per controllarne tutti i dettagli.

Alla fine dimostrò che la densità di energia libera ottenuta con qualsiasi scelta del parametro d'ordine all'interno dell'approccio delle repliche è un limite inferiore al risultato esatto. Quindi il massimo su tutti i parametri d'ordine è un limite inferiore al risultato esatto.

Talagrand, sei mesi dopo, dimostrò [11] che il risultato di Guerra non era solo un'ineguaglianza, ma un'uguaglianza, dimostrando la formula finale per la densità di energia libera del modello SK. Questo articolo è molto importante: è uno dei pochi risultati di Talagrand citati nelle

motivazioni del premio Abel che ha ricevuto nel 2024.

L'articolo di Talagrand non sarebbe potuto esistere senza quello di Guerra. Nel lungo articolo con la dimostrazione, dedicato a Francesco Guerra, scrive:

Abbiamo appreso l'attuale formulazione nel lavoro di Guerra, al quale rimandiamo per ulteriori discussioni sulle connessioni con la formulazione originale di Parisi. In questo articolo davvero notevole, Guerra dimostra che il lato sinistro della precedente equazione è limitato dal lato destro, usando uno schema di interpolazione che è la spina dorsale del presente lavoro. Guerra e Toninelli avevano precedentemente stabilito l'esistenza del limite.

In un'intervista molto dettagliata e interessante [12], Talagrand ritorna su questo punto:

Perché senza il limite inferiore di Guerra, l'articolo non sarebbe potuto esistere. Il limite inferiore di Guerra appartiene a quella categoria, come stavo spiegando, di risultati che non mi dispiace non aver fatto perché non avrei mai potuto raggiungere quel livello. [...] Vede, è quasi divertente, perché ai miei occhi Guerra fece la parte difficile di quella dimostrazione, che era trovare quell'idea. L'altra parte è davvero un'idea da scolareto, ma in qualche modo quell'idea da scolareto non era così facile da trovare. La vita è dura!

Nella stessa intervista, Talagrand menziona anche Ghirlanda-Guerra:

Questa è un'altra della stessa categoria. Fai qualcosa che sembra così semplice. Prendi un'uguaglianza di due cose e integri. [...] Come si può inventare una cosa simile? Quando vedo questo tipo di risultato, mi sento semplicemente fortunato che il caso e il destino mi abbiano portato a risultati che ho potuto dimostrare, mentre altre persone possono dimostrare cose di questo livello. Non merito di essere un matematico. Ecco perché l'ho detto. Ho un'infinita ammirazione per questi due risultati di Guerra.

Talagrand aveva ragione; è improbabile che senza Guerra questi risultati sarebbero stati trovati; senza di essi, gran parte della teoria

moderna dei sistemi disordinati non esisterebbe. L'abilità di Guerra di trovare una dimostrazione semplice per un problema che aveva resistito per decenni fu ineguagliata.

Accanto alla fisica matematica, Francesco diede contributi notevoli anche alla storia della fisica. Negli ultimi anni, insieme alla compagna e collega Nadia Robotti, studiò con rigore molti scienziati italiani, in particolare Ettore Majorana e Enrico Fermi, producendo lavori meticolosi e illuminanti [13–17]. Nel 2008 Francesco Guerra ha ricevuto, congiuntamente con Nadia Robotti, il Premio della Società Italiana di Fisica per i contributi dati alla Storia della Fisica, in particolare per il volume dedicato agli aspetti scientifici e alla attività accademica di Ettore Majorana. Con la sua consueta integrità intellettuale, univa profondità storica, competenza tecnica e chiarezza narrativa: faceva rivivere non solo le idee, ma anche i contesti umani e istituzionali della fisica del Novecento, con speciale attenzione alla scuola italiana e alle sue tensioni etiche nel periodo fascista. Su questi abbiamo avuto, entrambi, lunghe discussioni con lui, non solo su ciò che aveva già messo in luce, ma anche sulle sue congetture e sulla strategia per dimostrarle in modo definitivo.

Nel 2013 è stato nominato Socio Benemerito della Società Italiana di Fisica e nel 2015 Professore Emertio della Sapienza Università di Roma.

Per concludere, il lavoro di Francesco Guerra ha plasmato il panorama della fisica statistica moderna e arricchito la nostra comprensione della fisica come impresa umana. I suoi segni distintivi sono stati l'eleganza intellettuale, profondità scientifica e responsabilità culturale.

Tra i commenti in sua memoria svetta quello di Elliott Lieb che forse riassume meglio di tutti il contributo di Francesco Guerra:

Francesco era uno di quel piccolo ma felice gruppo che ha reso la fisica matematica moderna ciò che è. Non è concesso spesso a uno scienziato di avere un'influenza così vasta su un campo scientifico, e molti di noi sono saliti sulle sue spalle e gli sono molto debitori.

Pierluigi Contucci
Università di Bologna

Giorgio Parisi
Sapienza Università di Roma

Bibliografia

- [1] F. Guerra, "Uniqueness of the Vacuum Energy Density and van Hove Phenomenon in the Infinite-Volume Limit for Two-Dimensional Self-Coupled Bose Fields", *Phys. Rev. Lett.*, 28 (1972) 1213.
- [2] B. Simon, "Twelve Tales in Mathematical Physics: An Expanded Heine Prize Lecture", *J. Math. Phys.*, 63 (2022) 021101.
- [3] M. Mézard, G. Parisi, M. A. Virasoro, "Spin Glass Theory and Beyond" (World Scientific, Singapore) 1987, World Scientific Lecture Notes in Physics, Vol. 9.
- [4] S. Ghirlanda, F. Guerra, *J. Phys. A*, 31 (1998) 9149.
- [5] F. Guerra, F. L. Toninelli, *Commun. Math. Phys.*, 230 (2002) 71.
- [6] F. Guerra, *Commun. Math. Phys.*, 233 (2003) 1.
- [7] F. Guerra, *Int. J. Mod. Phys. B*, 10 (1996) 1675.
- [8] M. Aizenman, P. Contucci, *J. Stat. Phys.*, 92 (1998) 765.
- [9] D. Panchenko, *Ann. Math.*, 177 (2013) 383.
- [10] M. Aizenman, R. Sims, S. L. Starr, *Phys. Rev. B*, 68 (2003) 214403.
- [11] M. Talagrand, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I*, 337 (2003) 111; *Ann. Math.*, 163 (2006) 221.
- [12] P. Charbonneau, F. Zamponi, "The History of Replica Symmetry Breaking in Physics", <https://caphes.ens.fr/history-of-replica-symmetry-breaking-in-physics/> (2022).
- [13] F. Guerra, N. Robotti, "Ettore Majorana – Aspects of his Scientific and Academic Activity" (Edizioni della Normale) 2008.
- [14] F. Guerra, N. Robotti, *Physics in Perspective*, 11 (2009) 379.
- [15] F. Guerra, N. Robotti, *Physics in Perspective*, 15 (2013) 160.
- [16] F. Guerra, N. Robotti, "The lost notebook of Enrico Fermi" (SIF-Springer) 2018.
- [17] F. Guerra, N. Robotti, "Vita di Ettore Majorana" (Edizioni della Normale) 2025.